CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL:

A CAPACITAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva





Ciência e Tecnologia no Brasil: a Capacitação Brasileira para a Pesquisa Científica e Tecnológica

Volume 3

Simon Schwartzman (coord.)
Antônio Paes de Carvalho
Antonio C. Paiva
Carlos J. P. de Lucena
Eduardo Krieger
Fábio Wanderley Reis
Fernando Galembeck
Geraldo L. Cavagnari Filho
João Lúcio Azevedo
José M. Riveros
Oswaldo Luiz Ramos
Sandoval Carneiro Jr.
Sérgio M. Rezende
Sônia M. C. Dietrich
Umberto G. Cordani
Walzi C. Sampaio da Silva



FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
EDITORA

ISBN 85-225-0206-4

Direitos desta edição reservados à Fundação Getulio Vargas
Praia de Botafogo, 190 — 22253-900
CP 62.591 — CEP 22252-970
Rio de Janeiro, RJ — Brasil

Documentos elaborados para o estudo de ciência política realizado pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas, para o Ministério de Ciência e Tecnologia, no âmbito do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT II). As opiniões expressas nestes artigos são de exclusiva responsabilidade dos autores.

1ª edição — 1996

Coordenador do projeto: Simon Schwartzman

Edição do texto: Lucia Klein

Copidesque: Maria Isabel Penna Buarque de Almeida

Editoração eletrônica: Denilza da Silva Oliveira, Eliane da Silva Torres, Jayr Ferreira Vaz e Marilza Azevedo Barboza

Revisão: Aleidis de Beltran, Marco Antonio Corrêa e Fatima Caroni

Produção gráfica: Helio Lourenço Netto

Ciência e tecnologia no Brasil: a capacitação brasileira para a pesquisa científica e tecnológica, v. 3 / Simon Schwartzman (coord.). – Rio de Janeiro: Editora Fundação Getulio Vargas, 1996.
420p.

V.1 publicado em inglês sob o título: Science and technology in Brazil: a new policy for a global world.

1. Ciência e tecnologia — Brasil. 2. Ciência e estado — Brasil. 3. Tecnologia e estado — Brasil. I. Schwartzman, Simon, 1939- I. Fundação Getulio Vargas.

CDD – 607.281

Sumário

Química

*José M. Riveros**

1. Introdução

A química é uma ciência que desempenha um papel expressivo na atividade econômica do Brasil. Sua contribuição tem sido marcante no parque industrial do país, cobrindo uma ampla gama de setores, como a petroquímica, as indústrias farmacêutica, têxtil, de tintas, de borrachas, de plásticos, de alimentos, de papel, de couro, de defensivos agrícolas e fertilizantes, e de óleos e combustíveis.

A função histórica da química como ciência priorizou a transformação de matérias-primas básicas (petróleo, carvão mineral, extratos de plantas, minérios, gás natural etc.) em produtos finais de utilidade prática. As transformações químicas são decorrentes de processos desenvolvidos em escalas que vão desde bancadas de laboratório até plantas-pilotos e unidades de grande porte. A maior inovação recente da química deriva da importância crescente do domínio das técnicas de preparação ou fabricação de produtos químicos de elevado valor agregado, produzidos geralmente em pequena escala, e que podem funcionar como intermediários de produtos finais considerados quimicamente nobres e altamente demandados. Essa evolução traz consigo uma transformação substancial de tecnologia e de métodos com relação à abordagem dos produtos da indústria química pesada, hoje considerados *commodities*. Outro fator importante para o papel da química na vida moderna tem sido a consciência crescente sobre a importância de conciliar a fabricação e uso de produtos químicos e de recursos naturais com a preservação do meio ambiente e das condições de vida da população.

A química reúne hoje um conjunto de disciplinas afins que têm forte interdependência e que nem sempre obedecem a uma separação nítida. Entretanto, no Brasil, a compartimentalização da química é visível no ensino superior universitário e técnico, seguindo uma visão histórica aceita globalmente:

- a química como ciência básica;

- a engenharia química, orientada principalmente para estudos de processos industriais e para a formação de profissionais;

* Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

• a química farmacêutica, orientada para o treinamento de especialistas em áreas como análises clínicas e de alimentos, e atuante na área de fármacos;

• a química técnica ou tecnológica, voltada para a formação de técnicos em especialidades industriais definidas (papel, couro, têxteis etc.); e

• a bioquímica, cuja origem no Brasil remonta às faculdades de medicina ou às faculdades de farmácia, e que hoje recebe uma importante contribuição da biologia molecular, avançando rapidamente através da biotecnologia.

Na prática, a artificialidade dessa separação fica visível em função da interdisciplinaridade que caracteriza a ciência e a tecnologia, conduzindo a equívocos com relação ao que se espera de cada especialidade.

Ao contrário de outras ciências básicas, a química ostenta uma dualidade importante na sua atuação como ciência e como tecnologia e a ela se deve, em parte, a dificuldade, no Brasil, especialmente no âmbito empresarial, em estabelecer uma visão clara do papel reservado à pesquisa básica, e sua atuação em atividades de P&D, e o das aplicações que daí decorrem para o setor industrial. O modelo de industrialização acelerada que vigorou no Brasil nos anos 60 — marcado pela importação maciça de tecnologia — acentuou a dicotomia entre ciência e tecnologia e as barreiras na interação entre os setores acadêmico e industrial. A idéia de que a evolução da química implica um aperfeiçoamento daquele modelo industrial conduziu à formulação de políticas governamentais para o setor, como o caso da química fina. As dificuldades de comunicação entre os setores acadêmicos e industrial na área da química fina e a ambigüidade na definição desse conceito talvez constituam os melhores exemplos da complexidade do papel da química no Brasil.

A avaliação do estado-da-arte da química no Brasil é o tema deste trabalho, que reflete principalmente a situação no setor acadêmico, responsável pela geração e disseminação dos conhecimentos na área e pela formação das gerações futuras do país. Essa avaliação é necessariamente qualitativa, já que pretende analisar de maneira crítica a situação dos programas desenvolvidos nas universidades e nos institutos de pesquisa, a partir dos dados que constam dos relatórios dos programas de pós-graduação enviados para o CNPq e para a Capes e das tendências sugeridas pelas próprias agências de fomento à pesquisa.

2. Breve retrospectiva histórica

O desenvolvimento da química como ciência básica tem sido considerado uma prioridade nos últimos 35 anos na ótica de várias agências federais de financiamento à pesquisa e de organizações internacionais. De um lado, o crescimento do parque industrial brasileiro criou uma demanda de pessoal qualificado para o desenvolvimento, adaptação e controle de processos e tecnologias. De outro, a

criação de uma indústria química nacional de base e a importância do desenvolvimento de tecnologias de ponta para o futuro do país representaram um forte estímulo para a capacitação nacional em química. Esses fatores levaram ao desenvolvimento de linhas de atuação e ações específicas para a química, além da implantação de programas de fomento comuns às diversas áreas do conhecimento. Apesar dessas iniciativas, quase sempre vinculadas a programas de pós-graduação, a química recebeu um volume de recursos muito inferior aos da física, tanto do CNPq quanto da Finep.

A situação atual da química no Brasil reflete as ações estratégicas das diversas agências de fomento federais e estaduais, cujos programas específicos para a área promoveram um avanço importante. Em 1969, o CNPq lançou um ambicioso programa de colaboração internacional com a National Academy of Sciences, dos EUA, orientado especificamente para a química, com o objetivo de produzir um salto qualitativo em áreas de pesquisa consideradas de vanguarda. Pretendia-se abrir novos horizontes para a química do Brasil e criar um modelo da infra-estrutura requerida por programas de pesquisa que viessem a atender às futuras necessidades do país. O programa envolveu a participação de cientistas norte-americanos de renome, vinculados a instituições de grande prestígio como o Instituto Tecnológico da Califórnia e a Universidade de Stanford, bem como de jovens pesquisadores estrangeiros de talento, além de um investimento significativo em equipamentos e insumos. Essa iniciativa se concentrou em um número reduzido de grupos de pesquisa, situados em São Paulo e no Rio de Janeiro, e encerrou-se em 1977. O programa se orientava para a pesquisa básica e visava ao treinamento de alunos de pós-graduação em linhas de pesquisa inexistentes ou ainda incipientes no Brasil, a partir do pressuposto de que a química se encontrava, no país, em um patamar inferior ao das outras ciências básicas, como a física, a matemática ou as ciências biológicas, e em descompasso com a realidade internacional.

Os resultados desse programa patrocinado pelo CNPq foram modestos em termos do número de alunos de pós-graduação treinados e coincidiram com a implantação da pós-graduação formal no país, inicialmente com o apoio institucional do BNDE e, mais tarde, da Finep. Entretanto, dois marcos importantes foram estabelecidos por esse programa:

• a abertura de áreas de pesquisa em síntese orgânica, mecanismos de reações inorgânicas, fotoquímica e físico-química teve um efeito multiplicador expressivo em função da grande influência que essas linhas de pesquisa e seus líderes tiveram no país e da absorção de jovens pesquisadores estrangeiros que optaram por pemanecer no Brasil;

• o programa implicou um salto de qualidade, graças à excelência das pesquisas desenvolvidas por alguns grupos, muitas delas com seus resultados publicados em revistas internacionais altamente conceituadas.

No início dos anos 80, discutiu-se, no CNPq, a criação de um instituto de pesquisas químicas, à semelhança dos outros institutos do CNPq, com o objetivo de acelerar o desenvolvimento da química no Brasil. A idéia era apoiar programas de pesquisa básica, privilegiando tópicos considerados como prioritários para o país, nos quais as carências eram mais agudas, como alcoolquímica, carboquímica e catálise. Essa proposta foi transformada em um programa de nível nacional de apoio à química e engenharia química, o Programa Nacional e Apoio à Química (Pronaq). Entre seus principais resultados, destacam-se a criação de uma infra-estrutura de bibliotecas, a manutenção de equipamentos e a disponibilidade de reagentes químicos para os grupos de pesquisa existentes, além da criação de linhas de fomento para a capacitação de recursos humanos nas áreas identificadas como prioritárias para o país. O Pronaq foi desativado a partir da implantação do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT).

Mais recentemente, a implantação do PADCT privilegiou a química e a engenharia química com um volume expressivo de recursos em seus cinco primeiros anos, acrescidos de incentivos adicionais derivados de subprogramas de apoio à infra-estrutura criados dentro do PADCT, como os de manutenção, insumos, instrumentação e informação, com impacto direto na química.

A sistemática introduzida pelo PADCT representou uma mudança importante em relação aos programas anteriores da Finep e do CNPq, na medida em que pretendia estimular o apoio às instituições de pesquisa com base em critérios competitivos, através do julgamento de propostas induzidas por editais. Ao mesmo tempo, o PADCT não estabeleceu prioridades com relação a linhas de pesquisas, atuando apenas em função da qualidade e exeqüibilidade das propostas. Os efeitos deste programa ainda são de difícil avaliação face à lentidão na liberação da contrapartida nacional e na importação de equipamentos. É preciso reconhecer que, na química, o PADCT viabilizou a atualização dos equipamentos de grande porte, a instalação de centrais analíticas modernas, o apoio a programas de pós-graduação e, em menor escala, aos de graduação, além de um importante aporte para as bibliotecas e o aparelhamento da engenharia química com um instrumental moderno.

O cenário da química no Brasil transformou-se substancialmente com a criação, em 1977, da Sociedade Brasileira de Química, que atualmente congrega um número expressivo de químicos que atuam principalmente na área básica. A partir da década de 80, o papel da SBQ no panorama nacional como porta-voz do segmento vinculado à pesquisa básica ganhou maior importância, e a sociedade passou a editar periódicos de grande aceitação na comunidade científica. A SBQ tem-se sobressaído na elaboração de propostas que visam ao desenvolvimento básico da química a curto, médio e longo prazos e na realização de congressos nacionais com grande participação de cientistas da área. Nos últimos anos, a Associação Brasileira de Química (ABQ) também vem demonstrando grande vitalidade em seus congressos e na sua vocação para atuar na interface da química acadêmica com o setor industrial.

Um dos marcos importantes da engenharia química foi a criação da Coppe, no Rio de Janeiro, que conseguiu implantar um programa de pós-graduação de qualidade inédito no país. Por sua vez, a Escola Nacional de Química do Rio de Janeiro contribuiu de maneira relevante para a formação de químicos industriais, que vieram a constituir o alicerce da indústria química nacional. A engenharia química se fortaleceu bastante com o Pronaq e o PADCT, e recebeu um grande impulso a partir da criação de vários centros de pós-graduação no estado de São Paulo.

3. Áreas de atuação da química no Brasil

Um estudo realizado por Seidl (1991) para a Finep faz uma descrição pormenorizada das linhas de pesquisa em química existentes nas universidades e institutos de pesquisa brasileiros, além de incluir uma análise da distribuição geográfica das linhas de pesquisa e de atualizar informações levantadas no volume da série *Avaliação e Perspectivas* referente à área de química, publicado em 1982 (Mors, 1982).

A pesquisa e o desenvolvimento da química básica tem sido classificada historicamente em quatro grandes áreas (excluindo a bioquímica): química analítica, química orgânica, físico-química e química inorgânica. Trata-se de uma divisão reconhecidamente artificial devido a interdisciplinaridade crescente de novas linhas de pesquisa em química e dos seus objetivos. No entanto, ela serve para identificar algumas das linhas principais no Brasil.

Química analítica

Até recentemente a química analítica caracterizou-se, no Brasil, por uma visão muito clássica de sua função e bastante restrita no seu escopo, na medida em que se identificava principalmente com o desenvolvimento de técnicas de especificação de substâncias inorgânicas por vias químicas. Essa abordagem tradicional, embora obsoleta, lamentavelmente persiste no ensino de graduação em um grande número de instituições brasileiras, não obstante os imensos desafios que existem na química, que exigem soluções cada vez mais criativas de química analítica. Na pós-graduação, predomina um enfoque mais afinado com a realidade atual, que vem atraindo um número apreciável de profissionais do meio industrial.

Uma das peculiaridades dessa área é a baixa representatividade geográfica: a pesquisa acadêmica se desenvolve apenas na Bahia (UFBA), no Rio de Janeiro (PUC), em Brasília (UnB), Minas Gerais (UFMG) e São Paulo (nos diversos *campi* da USP, Unicamp, Unesp e UFSCar). Entretanto, centros de apoio como o IPT, em São Paulo, e o Ceped, na Bahia, e centros especializados como o Ipen, em São Paulo e Cenpes e IRD/Cnem no Rio de Janeiro, ou empresas de controle ambiental e saneamento básico, como a Cetesb, em São Paulo, também apresen-

tam uma intensa atividade em química analítica, da mesma forma que empresas do setor químico, estas últimas especialmente no que se refere a controle de qualidade de produtos.

A maioria das pesquisas em química analítica no Brasil se concentra em técnicas eletroanalíticas, entre elas a polarografia, potenciometria e voltametria cíclica e os aspectos mais recentes visando ao desenvolvimento de eletrodos seletivos, incluindo os de enzimas, que têm crescido significativamente nas universidades.

A introdução de técnicas de injeção de fluxo pelo grupo do Cena de Piracicaba, merece destaque especial. Esse grupo criou um *know-how* próprio, atualmente em fase de expansão, utilização e desenvolvimento em outros centros do país, e que vem sendo empregado em problemas importantes como o monitoramento praticamente *in situ* de alumínio presente no aço nacional.

Outras linhas de trabalho também merecem ser mencionadas, ainda que envolvendo grupos menores, como é o caso das técnicas de absorção atômica e de emissão atômica por plasma, desenvolvidas pela PUC/RJ, USP e Esalq. Essas técnicas vêm despertando grande interesse por parte de indústrias químicas e metalúrgicas. Esse é também o caso das técnicas termoanalíticas usadas principalmente na USP e na Unesp e que freqüentemente são empregadas por laboratórios associados às indústrias. Já o uso de técnicas radioquímicas para fins analíticos (caso da ativação por nêutrons, no Ipen) se limita a centros que dispõem de facilidades para lidar com material radioativo ou que possuem um reator para geração de nêutrons. Técnicas de separação, em especial as que envolvam diversas formas de cromatografia, também tiveram um desenvolvimento expressivo nos últimos 10 anos, embora restrito a poucos centros.

A química ambiental cresceu no país a partir da preocupação mundial com a preservação do meio ambiente. Um componente essencial nesse campo é o monitoramento de espécies químicas presentes na atmosfera como conseqüência da poluição urbana. Os efeitos da chuva ácida e estudos relacionados com a contaminação das bacias hidrográficas do Brasil também constituem áreas de pesquisa implantadas nos últimos anos. Diversas técnicas têm sido introduzidas para os estudos na química ambiental e vários grupos de pesquisa têm-se beneficiado de programas de colaboração internacional e de organizações mundiais, uma vez que o Brasil representa um laboratório extremamente diversificado para a química ambiental.

Na Unicamp, foi implantada uma linha de pesquisa em quimiometria, um método muito útil para reconhecimento de padrões através da análise matemática de dados analíticos, ao mesmo tempo em que já é possível apreciar os primeiros resultados obtidos pelos grupos dedicados à automação analítica.

A evolução da química analítica tem sido muito lenta, quando comparada com a de outras áreas da química, em termos de tópicos, metodologia e distribuição geográfica. A densidade de pesquisadores é baixa e a produtividade em termos de publicações de nível internacional também, configurando deficiências

sérias na área. Por exemplo, não há quase nenhuma atividade em espectrometria de massa e todas as suas inovações para fins analíticos, nas técnicas de caracterização de superfícies e no desenvolvimento de metodologias de multielementos para determinações analíticas. Não surpreende, assim, que a contribuição de pesquisadores brasileiros na revista de maior prestígio da área, *Analytical Chemistry*, tenha sido praticamente nula nos últimos anos.

Química orgânica

Seguindo a tendência da maioria dos países industrializados, também no Brasil a química orgânica é a maior área da química em termos de número de pesquisadores e de distribuição geográfica. É possível identificar três grandes linhas da química orgânica no Brasil: a química de produtos naturais, que ocupa, historicamente, um papel importante no desenvolvimento da pesquisa no Brasil e reúne um número expressivo de pesquisadores, além de ser extremamente relevante para o país; a síntese orgânica; a físico-química orgânica.

A área de *produtos naturais*, cujo objetivo principal é o estudo, caracterização e isolamento das substâncias químicas presentes em plantas e, em menor escala, nas espécies de origem animal ou marinha, inclui desde o isolamento de substâncias em microescala até a obtenção de produtos usados em escala industrial.

Nos países desenvolvidos, que, em sua maioria, não dispõem de uma diversidade de espécies comparável à do Brasil, a área de produtos naturais é um ponto de referência para a síntese em laboratório de produtos naturais e para a possibilidade de introduzir modificações estruturais nessas moléculas, de maneira a produzir substâncias com atividade biológica específica através de técnicas de biossíntese e biotecnologia. A metodologia necessária para pesquisas de fôlego nesta área requer atualmente equipes multidisciplinares integrada por químicos, botânicos, biólogos e farmacólogos, e uma definição clara dos objetivos visados, uma vez que as opções de estudos são enormes.

A pesquisa em produtos naturais está dispersa por todo o Brasil: no Norte (notadamente no Inpa e na UFPa), no Nordeste (UFCe e UFPb) e no Sudeste (UFRJ, UFRRJ, UFMG, UFF, UFSCar, Unicamp e USP). Trata-se, portanto, de uma área bastante ativa em todas as regiões do país, embora existam grandes diferenças em termos de infra-estrutura e do número de pesquisadores. Um programa para essa área, que se apóia em recursos analíticos sofisticados, requer laboratórios funcionando como verdadeiros institutos de pesquisa, departamentos, ou laboratórios especiais.

Essa área tem dado origem a um grande número de publicações em revistas especializadas e de teses de mestrado e de doutoramento, com ênfase, em anos recentes, em certas famílias botânicas responsáveis por uma química bastante rica na área de terpenos. Paralelamente, surgiram tendências interessantes, como o uso de produtos naturais no controle de pragas, e a sistematização da evolução

química e botânica de famílias da flora brasileira, em um trabalho integrado de química e botânica. De outro lado, vem crescendo, de maneira até preocupante, a simples caracterização química dos componentes encontrados em plantas brasileiras, sem uma justificativa definida sobre o eventual interesse desses sistemas.

As técnicas de separação dos componentes químicos estão bem difundidas no país, envolvendo freqüentemente um trabalho penoso para a obtenção de quantidades suficientes para análise e eventuais transformações químicas posteriores. O grande obstáculo enfrentado pela química de produtos naturais no Brasil tem sido a carência de instrumental adequado para as análises, em especial, em ressonância magnética nuclear, cromatografia líquida de alta pressão, espectrometria de massa e, em menor escala, cristalografia de raios X, obrigando, no passado, à busca de parcerias no exterior.

Nos últimos cinco anos, houve uma renovação significativa dos equipamentos de vários laboratórios, especialmente no Sudeste, criando-se boas condições de trabalho em ressonância magnética nuclear (RMN) e cromatografia líquida em diversos centros do Brasil e a perspectiva de instalação de um RMN de 500MHz irá beneficiar de imediato essa área. Já na espectrometria de massa prevalece uma enorme escassez de especialistas para realizar e interpretar experiências avançadas a partir do uso dessa técnica, e a maioria dos instrumentos em funcionamento é utilizada apenas para análises rotineiras.

Nos últimos 20 anos, a *síntese orgânica* tem tido uma evolução importante no Brasil, com o surgimento de diversos grupos, sobretudo no Centro-Oeste (UnB) e Sudeste (UFRJ, UFSCar, Unicamp e USP). Existe atualmente no país uma base sólida que acena com um grande potencial para a área. Embora a grande meta ainda seja a realização de uma síntese total, rotas e metodologias vêm sendo estabelecidas por pesquisadores nacionais. O Encontro Brasileiro de Síntese Orgânica de 1992, em Campinas, comprovou a evolução em qualidade dessa área no Brasil, cujo crescimento representou um avanço importante na capacitação para a preparação de substâncias e intermediários químicos, muitos dos quais de interesse direto para a química fina. O uso de reagentes especiais para este fim, e de métodos fotoquímicos e eletroquímicos, já está bastante difundido em diversos grupos.

A área de síntese tem uma grande dependência da disponibilidade de reagentes específicos. Devido a dificuldades de importação rápida, os pesquisadores têm sido obrigados a efetuar compras programadas para manter um estoque enorme de reagentes e garantir a continuidade de trabalhos, na tentativa de superar um problema que constitui um entrave comum para os trabalhos nesta área.

Algumas das características apontadas para produtos naturais são comuns para a área de sínteses. A demanda por instrumental de análise sofisticado (RMN, espectrometria de massa, análise elementar) é grande e essencial para o sucesso nessa área, e também nela ainda não está suficientemente desenvolvido no Brasil

o uso de inteligência artificial para detalhar as etapas ou os caminhos mais apropriados a serem seguidos em uma determinada síntese.

A terceira grande área é a *físico-química orgânica*, cuja definição é mais difusa, já que congrega assuntos que vão desde a espectroscopia aplicada a sistemas orgânicos até cinética e mecanismo de reações a fenômenos interfaciais em soluções de detergentes e fotoquímica, alguns dos quais se encaixam, pela sua própria natureza, na físico-química.

No Brasil, essa área tem-se destacado por um alto índice de produtividade, em especial no Sudeste (USP) e Sul (UFSC). Entre as especialidades que atingiram maior excelência está a que envolve aspectos diversos da físico-química de micelas e tensoativos, enquanto a área de velocidade e catálise de reações nestes meios e no uso destes sistemas como modelos de membranas também tem estado bastante ativa, com a formulação de modelos teóricos para explicar a troca de íons em fase micelar, e a realização de trabalhos fotoquímicos em soluções micelares e de fenômenos de química coloidal. Indicadores do desenvolvimento desse campo são o número de colaborações nacionais e internacionais existente entre os grupos e o fato de ter sido esta uma das áreas escolhidas como tópico de *workshop* entre pesquisadores do Brasil e dos Estados Unidos, por inciativa da Presidência da República.

O uso de técnicas espectroscópicas para fins de análise conformacional e a utilização de mecânica molecular também estão em franca evolução no país.

Físico-química

Entre as áreas da química, foi a físico-química a que mais cresceu e se diversificou no Brasil, abrangendo desde projetos desenvolvidos em departamentos de física até alguns nas áreas de biofísica e bioquímica. Suas especialidades mais importantes podem ser sintetizadas nas seguintes categorias: espectroscopia, química teórica e eletroquímica.

Na *espectroscopia*, há uma apreciável atividade em espectroscopia vibracional, eletrônica e de impacto de elétrons, com destaque para grupos no estado de São Paulo, e nas cidades do Recife e Rio de Janeiro. Nessas áreas existe uma tradição estabelecida e laboratórios com uma infra-estrutura razoável. Em vários casos, e até por motivos históricos associados com a origem dos grupos, existe uma forte interação com físicos. O uso de *lasers* em vários desses laboratórios tem permitido maior poder de resolução nas experiências e o início da espectroscopia com resolução temporal, com interesse direto na área de fotofísica. Apesar de ser uma área com reconhecida competência no país, as técnicas mais recentes de espectroscopia de *laser* de alta resolução e a de feixes supersônicos ainda são incipientes no Brasil.

Considerando que até 20 anos atrás a *química teórica* era praticamente inexistente no Brasil, esta área teve um crescimento rápido. Essencialmente restrita a químicos e físicos computacionais, a comunidade de químicos teóricos se loca-

liza principalmente no estado de São Paulo, e nas cidades do Rio de Janeiro, Recife e Belo Horizonte, e tem produzido trabalhos de boa qualidade, em que pesem as severas limitações impostas pelos recursos computacionais existentes até recentemente no país.

A *eletroquímica* é a especialidade mais antiga da físico-química no país, embora, atualmente, esteja fortemente concentrada em poucos centros. O maior número de pesquisadores em eletroquímica está na USP-São Carlos, na USP-São Paulo e na UFSCar, trabalhando em eletrocatálise, pilhas de combustível e geração de hidrogênio. Os demais centros importantes também estão na região Sudeste, e até em institutos de física, como no caso da Unicamp. Comparado com outras especialidades em físico-química, o instrumental necessário é de custo relativamente mais baixo. As aplicações tecnológicas da eletroquímica a tornaram uma área de grande interesse no país, e uma das conseqüências da pesquisa nesse setor tem sido o crescimento de estudos associados com corrosão, utilizando técnicas avançadas.

Outras especialidades da físico-química têm estado restritas a grupos pequenos ou quase únicos no país, como o de colóides, com um bom desempenho na área de cristais líquidos e, mais recentemente, na evolução do estudo de sóis e géis. A termoquímica e a termodinâmica são áreas de especialização com grande competência instalada, embora os trabalhos de pesquisa estejam concentrados quase exclusivamente no estado de São Paulo. A físico-química de superfícies também experimentou um grande salto de qualidade, embora basicamente concentrado na Unicamp.

Entre as áreas deficitárias da físico-química, está a dinâmica molecular de reações, dos pontos de vista experimental e teórico. Os equipamentos para esse tipo de experiência são de custo elevado, embora sua construção gere tecnologia de ponta. Há também pouca atividade na de superfícies ao nível molecular, envolvendo técnicas espectroscópicas e para o estudo da dinâmica de fenômenos que ocorrem nessas superfícies. A aplicação dos novos tópicos em mecânica estatística como dinâmica molecular também ainda está em estágio incipiente.

Química inorgânica

A química inorgânica é uma área ainda muito carente, reunindo um número relativamente pequeno de pesquisadores no Brasil, considerando o crescimento do setor de materiais inorgânicos. Abrange as seguintes linhas principais de pesquisa: cinética e mecanismo de reações de complexos inorgânicos; química de coordenação de terras raras; química organometálica; química do estado sólido.

As pesquisas em *cinética e mecanismo de reações de complexos inorgânicos* têm-se concentrado no estudo de complexos de ferro, de rutênio e de cobalto, com destaque recente para as reações de transferência de elétrons e o uso de técnicas capazes de acompanhar reações rápidas. Mais recentemente, esses estudos foram ampliados para a caracterização dos comportamentos fotoquímico, eletroquímico e espectroscópico desses complexos. Complexos de ferro também têm sido utilizados em estudos de bioinorgânica, uma área de enorme interesse atual e em franca expansão, com trabalhos de boa qualidade realizados sobretudo na USP-São Paulo, além de uma atividade intensa na Unicamp, UFRGS, Unesp, UFMG, UFSCar, USP-São Carlos e USP-Ribeirão Preto. Apesar do pequeno número de pesquisadores, a área já conquistou reconhecimento internacional.

A área de *química de coordenação de terras raras* foi iniciada na USP nos anos 50 e tem um interesse especial para o Brasil, pela riqueza existente em terras raras. Os principais grupos estão no estado de São Paulo e na cidade do Recife, este último dedicado ativamente a estudos de espectroscopia desses compostos. A contribuição mais importante nessa área tem sido a caracterização sistemática de aductos com terras raras.

A área de *química organometálica* teve um enorme progresso no cenário mundial nos últimos 30 anos e é especialmente importante para o campo da catálise. Pouco tem-se investido nessa área e é pequeno o número de grupos que se dedicam a esta especialidade, com atividades na Unicamp, Unesp e UFRGS.

A *química do estado sólido* é uma especialidade recente no país, de grande interesse pela aplicação potencial na área de novos materiais e de compostos não-esteiquiométricos. Os grupos que atuam nessa área freqüentemente se associam com pesquisadores da física, para fins de caracterização e utilização de novas substâncias. Essa área inclui também o estudo de vidros, e cresce o número de pesquisadores trabalhando com zeólitos e reações nestes ambientes, como é o caso da Unicamp. Existem também algumas iniciativas na área de silicatos e, de forma mais incipiente, na área de *clusters* metálicos no estado de São Paulo. Essas iniciativas foram apoiadas pelo Pronaq, pelo Programa de Insumos para Microeletrônica da Finep e, mais recentemente, pelo Programa de Novos Materiais do PADCT e pelo RHAE.

A química inorgânica requer um aumento expressivo, e a curto prazo, do número de pesquisadores em algumas das linhas apontadas acima. Um dos maiores entraves na parte instrumental tem sido a determinação de estruturas por difração de raios X em monocristal, já que apenas o grupo de cristalografia de São Carlos atua neste campo e não tem condições de atender à grande demanda para determinações estruturais.

Outras áreas importantes da química

Algumas especialidades não se enquadram rigorosamente em quaisquer dessas categorias e devem ser consideradas em separado. A radioquímica tem tradição no Brasil, e sua área de atuação extrapola a química analítica, desenvolvendo-se principalmente nos laboratórios ligados à Cnen. A catálise, por sua vez,

envolve pesquisadores de química (principalmente em catálise homogênea) e de engenharia química (catálise heterogênea), empregando técnicas muito variadas. Apesar do grande destaque dado a esta área, o número de pesquisadores ainda é muito pequeno.

Química macromolecular e polímeros. A química de polímeros desempenha um papel preponderante nas atividades industriais no Brasil, e nela se incluem aspectos básicos de substâncias utilizadas por setores como plásticos, borrachas, adesivos e tintas, até aspectos relacionados com a própria engenharia de plásticos. Durante muitos anos as atividades de pesquisa acadêmica estiveram praticamente restritas ao IMA da UFRJ, que enfrentou enormes dificuldades para manter seu corpo docente face à demanda do setor produtivo por químicos dessa especialidade. Avanços importantes têm sido feitos por grupos de pesquisa na Unicamp, trabalhando com blendas poliméricas e com os efeitos de irradiação em polímeros. Outro centro que se tem destacado é o da UFRGS, onde a pesquisa em química de polímeros tem representado um incentivo direto ao pólo petroquímico de Porto Alegre. Lá, a colaboração de cientistas renomados da Alemanha permitiu o treinamento e o início de pesquisas de bom nível neste campo, que está intimamente ligado à área de novos materiais.

Fotoquímica. Essa especialidade abrange diversos grupos no Brasil, com interesses de caráter sintético (USP, UFRJ, Unicamp), mecanístico e de reações quimiluminiscentes (USP-São Paulo e São Carlos), e fotofísico (Unicamp, USP e UFPe) até a fronteira com fenômenos biológicos e efeitos em macromoléculas.

Engenharia química

O desenvolvimento da engenharia química no nível de pós-graduação e como geradora de conhecimentos no âmbito acadêmico está muito vinculado à criação da Coppe, no Rio de Janeiro, cujo esforço concentrado acabou catalisando a atuação de outros centros de excelência no país, como USP, Unicamp e UFSCar, e de algumas instituições com potencial interessante, como as Universidades Federais de Minas Gerais e Uberlândia. As áreas mais destacadas em pesquisa no Brasil são as de modelagem de processos, catálise e termodinâmica.

A engenharia química ainda está longe de ter atingido uma massa crítica suficiente e tem sido alvo de críticas pela sua baixa produtividade em publicações em periódicos. Entretanto, ela vem desempenhando um papel importante na criação e desenvolvimento de tecnologia.

4. Avaliação da infra-estrutura para a pesquisa em química

Qualquer tentativa de avaliação do estado-da-arte das diversas especialidades da química requer uma análise da infra-estrutura física e instrumental disponível e do capital humano existente nos centros de pesquisa. Levantamento recente realizado a respeito da infra-estrutura existente para trabalhos de pesquisa em química contém dados reveladores. Segundo dados tabulados por Cagnin (1993), na opinião dos pesquisadores brasileiros, suas condições de trabalho deixam muito a desejar. Com base nas respostas de 168 pesquisadores ativos no Brasil, o fator infra-estrutura foi considerado ruim por 38,1% deles e regular por outros 38,1% . Apenas 21,4 % dos pesquisadores brasileiros consideraram boa a infra-estrutura e 2,4% a classificaram como péssima. Prevaleceram pesquisadores do Nordeste e do Sul entre os que consideraram sua infra-estrutura de trabalho ruim.

Avaliações estatísticas dessa natureza refletem opiniões subjetivas de pesquisadores e não permitem conhecer em detalhe as principais causas. Alguns aspectos, contudo, podem ser analisados de maneira conjunta.

Grande parte dos laboratórios das universidades e institutos de pesquisa no Brasil são simplesmente inapropriados para quase qualquer tipo de programa de pesquisa. A situação é particularmente alarmante no Nordeste (Bahia, Sergipe, Alagoas, Paraíba e, até certo ponto, Ceará). Muitos dos prédios que abrigam os laboratórios têm instalações incompatíveis com o seu uso para pesquisa. Problemas de ventilação e exaustão, de iluminação, controle de temperatura, e de instalações elétricas e hidráulicas são crônicos até em instituições de construção mais recente. Os problemas ligados à rede elétrica nas universidades são particularmente sérios e decorrem da visão estereotipada de que a química se faz com tubos de ensaio e balões. A verdade é que os laboratórios construídos para a química, na sua grande maioria, não foram dimensionados para abrigar instrumental moderno e de precisão, e, freqüentemente, instrumentos delicados e de grande porte ficam comprometidos em função de instalações elétricas defeituosas. Por sua vez, as próprias universidades quase nunca dispõem de um corpo técnico capaz de resolver problemas como esses, que exigem engenharia especializada e normas de segurança rigorosas. O clima da maior parte do país exige a instalação de condicionadores de ar nos laboratórios de instrumentação; nas instituições de menor porte, os prédios sequer foram dimensionados para isso.

Essas críticas também se aplicam às instalações básicas nos laboratórios. A inexistência de capelas adequadas, mesmo para trabalhos rotineiros, é comum, obrigando os pesquisadores a importarem capelas portáteis para aplicações mais delicadas.

As normas de segurança dos laboratórios de pesquisa são precárias. A remoção e tratamento de resíduos químicos e a recuperação e descarte de solventes são problemas diários de difícil solução, dada a ausência de rede de esgoto apropriada ou de facilidades de incineração. As modificações estruturais necessárias são complexas e as soluções paliativas que têm sido adotadas são, quase sempre, precárias. O investimento necessário para a recuperação ou correção das instalações elétricas e hidráulicas é, indiscutivelmente, elevado. Os laboratórios de

diversos institutos governamentais ligados à química são, em alguns casos, ainda piores que os universitários e contrastam com os laboratórios de grandes empresas do setor químico (multinacionais, em geral) para controle de qualidade ou desenvolvimento de produtos.

A visão das agências governamentais de fomento, de que as condições de infra-estrutura são responsabilidade da instituição hospedeira, se revela irreal na maioria dos casos, uma vez que, excetuando-se algumas universidades mais privilegiadas, não há a menor condição de se aprimorar as instalações e infra-estrutura dos laboratórios universitários com base nos recursos orçamentários das universidades.

Um segundo componente a ser analisado se refere ao material e instrumental disponível para trabalhos de pesquisa. Nesse item, as condições se diferenciam em função da localização geográfica e se vinculam à capacidade de obtenção de recursos externos por parte das instituições. O problema da disponibilidade de reagentes químicos continua sendo um entrave importante no desenvolvimento de projetos, que afeta a flexibilidade para experimentar novas idéias ou rotas alternativas. Problema sério mesmo em algumas instituições em São Paulo e no Rio de Janeiro, a situação se torna crítica em centros mais afastados. Nos últimos anos, o funcionamento do Sistema de Armazenamento e Distribuição de Insumos (Sardi) representou uma abertura importante que, em momentos difíceis, deu alívio para muitos grupos de pesquisa. Apesar dos grandes avanços com relação à importação, os pesquisadores ainda se ressentem da ausência de mecanismos que permitam a aquisição rápida de reagentes no exterior. Trata-se de um impasse antigo, que coloca em xeque a consistência burocrática do Estado brasileiro, em que pesquisas financiadas com recursos públicos e consideradas de interesse para o país são, na prática, inviabilizadas por disposições burocráticas de outras agências estatais.

Além disso, a disponibilidade de reagentes químicos no mercado nacional é muito limitada e de qualidade discutível. Excluindo a reembalagem de produtos importados, cujos preços são abusivos, o teor de impurezas dos solventes nacionais é, em geral, muito elevado. Até os gases industriais fabricados por subsidiárias de multinacionais especializadas nesta área não se comparam aos produtos existentes para pesquisa nos países mais avançados. É o caso do nitrogênio usado nos laboratórios de pesquisa: mesmo o nitrogênio de melhor qualidade possui teores de umidade muito acima das especificações internacionais e comprometem preparações que requerem atmosfera inerte.

As condições da vidraria para laboratório não são muito diferentes, embora tenham melhorado bastante, em conseqüência do desenvolvimento da indústria nacional. Contudo, a qualidade ainda é regular e a diversidade pequena, sendo comum, por exemplo, encontrar juntas de vidro esmerilhado com uma incidência elevada de encaixes defeituosos.

A disponibilidade de instrumentação moderna teve um grande avanço nesses últimos anos. Os recursos alocados via PADCT e, no caso do estado de São

Paulo, via Fapesp, através dos auxílios temáticos e projetos especiais, resultaram em inovações importantes em muitos laboratórios. Atualmente, vários dos laboratórios de pesquisa no estado de São Paulo contam com instrumental perfeitamente compatível (às vezes até superior) com aquele existente em muitas instituições de nível médio em países avançados, embora freqüentemente sem recursos suficientes para operar este instrumental. Em contrapartida, a penúria que o CNPq e a Finep vêm atravessando desde 1990 e, em âmbito estadual, a Faperj, penalizou gravemente os grupos que não tiveram acesso aos recursos do PADCT e da Fapesp, o que explica o fato de, nas estatísticas de Cagnin (1993), o item "disponibilidade de equipamento" ter sido considerado como o maior entrave infra-estrutural por pesquisadores do Sul do país.

O maior progresso na área instrumental foi em espectrômetros de ressonância magnética nuclear, espectrômetros infravermelhos e, em menor escala, em espectrômetros de massa, que aliviaram uma demanda reprimida para fins analíticos. As facilidades para difração de raios X continuam essencialmente limitadas a São Carlos, fazendo-se necessária a expansão de instrumental e de pessoal nessa área.

Em resumo, fica claro que o fator infra-estrutura (física e instrumental) apresenta enormes diferenças conforme o local no Brasil. Em alguns centros, as instalações básicas dos laboratórios permitem concluir que é possível, em certas áreas, realizar trabalhos de pesquisa em condições competitivas com centros no exterior sem, no entanto, pretender-se ingenuamente nivelar instalações e capital humano de instituições como a Unicamp ou USP com os grandes centros de excelência de química como o CalTech, Stanford, Berkeley, Harvard, MIT, Toronto, Oxford, Cambridge, Zürich, Göttingen etc. Convém, ainda, destacar que a Fapesp, no estado de São Paulo, conseguiu, nos últimos anos, atender a aproximadamente 70% (das solicitações de auxílio, mas não dos recursos solicitados) da demanda dos pesquisadores da química.

O crescimento vertiginoso da instrumentação utilizada em pesquisa e o acoplamento a sistemas de coleta de dados ou a microcomputadores que gerenciam o instrumento tornaram a aquisição de instrumentos de pesquisa uma decisão estratégica importante para pesquisadores no país, com reflexos indiretos sobre a infra-estrutura. A demora natural que ocorre no processo de consulta ao fabricante, na solicitação de recursos, na aprovação, liberação e, finalmente, importação, muitas vezes resulta na compra de modelos em vias de obsolescência. O custo dos equipamentos freqüentemente é superior ao que é pago em países "consumidores" de instrumentos. O pesquisador brasileiro tem pouco poder de barganha para adquirir o instrumento, porque o Brasil representa um mercado pequeno nessa área. Em resumo, o Brasil está pagando um preço relativamente alto pela instrumentação científica. Por sua vez, os *softwares* que comandam os instrumentos não são necessariamente de modificação trivial, além de esbarrarem em problemas delicados que infringem direitos de propriedade intelectual.

A físico-química experimental de grande porte e, indiretamente, o desenvolvimento da metodologia analítica são áreas que têm enfrentado algumas dificuldades para se expandir. A ênfase excessiva dos editais do PADCT em instrumentação de uso comum, endossada por uma boa parte da comunidade da química, ignora completamente a problemática de grupos preocupados com experiências que implicam o desenvolvimento de protótipos e a construção de equipamentos que, embora acoplados a unidades comerciais, devem trabalhar de maneira dedicada nas experiências. Em muitas situações, o instrumental necessário se aproxima mais daquele utilizado na física ou até em algumas das engenharias. O investimento exigido para experiências desse tipo é elevado, já que tanto a dinâmica química quanto a espectroscopia requerem em geral *lasers* ultra-rápidos, detectores especiais, mecânica de precisão e eletrônica digital sofisticada, e configuram áreas em que o país definitivamente não tem condições de produzir, no momento, trabalhos de pesquisa competitivo internacionalmente.

Outro problema sério é a manutenção dos instrumentos. O subprograma de manutenção do PADCT foi inócuo neste sentido, e até ingênuo na sua concepção. Não só é difícil encontrar pessoal qualificado nos institutos ou departamentos de química capaz de se responsabilizar por reparos dos mais simples, como, por outra parte, a arquitetura dos instrumentos comerciais requer, atualmente, a manutenção por uma firma qualificada ou pelo representante local do fabricante. Contratos de manutenção ainda são raros, devido ao seu custo elevado e à falta de tradição na orçamentação para este fim. Além disso, vários fabricantes de instrumentos do exterior adotam uma atitude que está longe de ser profissional com relação aos instrumentos em operação no Brasil.

A ausência de serviços de manutenção confiáveis, tanto no nível institucional quanto no empresarial, e de orçamentação ou previsão orçamentária apropriada é agravada pela ausência de serviços qualificados mais modestos, mas, ainda assim, necessários, em laboratórios de pesquisa. Oficinas de vidraria, mecânica e eletrônica são fundamentais para qualquer trabalho em química. Além de terem dificuldade em encontrar pessoal qualificado nessas áreas, as universidades ou centros de pesquisa quase nunca dispõem de uma estrutura salarial ou profissional que permita manter técnicos de nível elevado. A infra-estrutura de oficinas mecânicas e eletrônicas existentes na química é, em geral, muito ruim.

O isolamento científico dos pesquisadores brasileiros da área de química, assim como de outras áreas, torna o acesso a bibliotecas um fator da maior importância. Poucos são os grupos de pesquisa que podem se vangloriar de estar na "crista da onda" e fazer parte do círculo privilegiado onde as informações fluem rapidamente entre os laboratórios. A situação das bibliotecas de química melhorou bastante com o Pronaq e, a seguir, com o PADCT. A biblioteca do Instituto de Química da USP foi designada como centro de referência na área de química, apesar de algumas lacunas e da dificuldade em acompanhar a publicação de novos periódicos.

Grande parte das instituições de pesquisa conta ainda com recursos bibliográficos extremamente precários, como é o caso do Norte e Nordeste do Brasil, e depende de acesso fácil aos centros de referência. Atualmente, a situação no estado de São Paulo pode ser considerada satisfatória, já que tanto a USP (nos seus diversos departamentos, institutos e *campi*), quanto a Unicamp e a Unesp dispõem de bons recursos nessa área. A Universidade de Brasília também tem recebido um volume satisfatório de recursos, além de contar com a infra-estrutura de bibliotecas da Embrapa.

O problema básico das bibliotecas continua sendo a incerteza anual quanto ao volume de recursos orçamentários a elas destinados. A rapidez com que novos conhecimentos são gerados e a evolução e os avanços nos sistemas de informação resultam, a curto prazo, na necessidade de novos investimentos na área de bibliotecas.

Um outro fator freqüentemente apontado como empecilho para o trabalho de pesquisa em química nas universidades é a elevada carga horária do seu corpo docente, que, na maioria das universidades brasileiras, tem obrigações didáticas muito superiores às de outros departamentos e também às de suas congêneres nos países avançados. O grande número de horas formais dedicadas ao trabalho experimental é, em parte, responsável por esta situação, sem que isso se tenha traduzido necessariamente na formação de químicos de bancada com grandes aptidões.

5. Avaliação crítica do estado-da-arte da química no Brasil

Uma série de indicadores quantitativos aponta para um progresso qualitativo e quantitativo indiscutível na área de química no Brasil. Esta tendência é particularmente visível nos dados coletados junto aos programas de pós-graduação, no número de participantes em eventos científicos e técnicos realizados no país e, ainda, quando confrontados com as informações que constam no volume da série *Avaliação e Perspectivas*, referente à área de química (Mors, 1982).

A tabela 1 expresssa a tendência presente nos relatórios consolidados da Capes para a química, relacionando, para fins de comparação, as seguintes variáveis: número de cursos de pós-graduação credenciados pela Capes, número de docentes com titulação de doutor ou equivalente (antigo livre docente) formados por esses programas, alunos de mestrado e de doutorado matriculados na data de encerramento do período avaliado, número de teses de mestrado e doutorado defendidas no mesmo período, número de publicações em revistas nacionais e internacionais, e número de comunicações apresentadas em congressos nacionais e internacionais. Os relatórios se referem a biênios,

exceto no caso da coluna 1987-89, que expressa os dados acumulados em um período de três anos.

Tabela 1
Situação da química no Brasil

Variável	1983/84	1985/86	1987/89	1990/91
Cursos de pós-graduação	24	31	34	35
Alunos de mestrado	599	813	1.115	1.204
Alunos de doutorado	276	336	545	795
Teses de mestrado	226	212	411	476
Teses de doutorado	75	81	109	153
Publicações nacionais	119	152	368	320
Publicações internacionais	358	427	830	710
Comunicações em congressos nacionais	1.282	1.738	3.414	3.168
Comunicações em congressos internacionais	251	248	537	544
Docentes com doutorado	334	395	516	590

Fontes: Pós-graduação em química e farmácia (1991) e dados gentilmente cedidos pelo prof. dr. Massayoshi Yoshida, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, que durante vários anos atuou nas comissões de avaliação da Capes.

Os números da tabela 1 podem ser acrescidos de dados das áreas correlatas. Assim, a engenharia química tem, atualmente, nove cursos de mestrado e quatro de doutorado, e a de farmácia, 10 cursos de mestrado e quatro de doutorado, alguns deles dirigidos mais especificamente às áreas de análises clínicas e toxicológicas. A tabela 1 não distingue entre os dados de mestrado e doutorado em uma mesma instituição. Sob qualquer aspecto, a evolução da área é excepcional para um país como o Brasil, onde os dados do PIB até 1993 apontavam para um crescimento econômico nulo, ou até negativo. Os dados da tabela 1 revelam que, no prazo de nove anos, o número de teses de mestrado e doutorado em química duplicou, com o número de publicações produzidas nos programas de pós-graduação seguindo uma tendência idêntica.

Esse crescimento da produção científica é reforçado pelas participações e apresentações em congressos e pelo aumento no número das comunicações em eventos internacionais. Esse dado é particularmente interessante já que a participação em congressos dessa natureza requer o apoio de agências de financiamento à pesquisa para custeio de passagens, taxas e diárias. Houve, em âmbito nacional, um crescimento expressivo de participantes nas reuniões anuais da Sociedade Brasileira de Química, a partir da fixação de Caxambu como sede

desses encontros, e da Associação Brasileira de Química. Embora a qualidade das apresentações ainda seja bastante heterogênea, essas reuniões têm conseguido atrair conferencistas convidados de renome internacional, dando oportunidade aos pesquisadores brasileiros de tomar contato com lideranças científicas importantes. Outras reuniões, de caráter mais especializado, também vêm se transformando em foros importantes de divulgação de idéias e resultados: é o caso das Conferências de Físico-Química Orgânica, dos Simpósios de Eletroquímica e Eletroanalítica (Sibee), dos Simpósios de Química Teórica e dos Encontros de Síntese Orgânica, Química Inorgânica e Química Analítica, e das Regionais da SBQ. Dentre as reuniões de caráter mais tecnológico, destacam-se aquelas organizadas pela Associação Brasileira de Tintas, que congrega grande número de participantes e que começa a atrair pesquisadores do setor acadêmico como convidados.

Esse nível de atividade tem resultado em uma auto-avaliação bastante favorável pela própria comunidade de química. Sete entre os cursos de doutorado de alguma modalidade de química e dois na engenharia química são considerados de excelente qualidade na classificação da Capes (nível A), o que vem gerando a convicção (discutível, na opinião deste autor) de que a concessão de bolsas de doutoramento no exterior só se justifica quando envolve assuntos de interesse excepcional, ou em áreas em que o Brasil ainda não dispõe de competência estabelecida. Essa perspectiva difere bastante da que prevaleceu na física durante muitos anos e que é considerada uma das causas do patamar de qualidade atingido pela área. A classificação dos bolsistas de pesquisa do CNPq também reflete um conceito de excelência: atualmente existem 42 pesquisadores na área de química e seis na de engenharia química na categoria máxima (1 A).

Já os dados levantados mais recentemente por Cagnin (1987) dão uma perspectiva menos otimista da evolução da produção científica na química. A tabela 2 expressa a produção científica da área, a partir do número de publicações de autores brasileiros em periódicos arrolados pelo *Chemical Abstracts* (artigos em revista, atas de congressos e simpósios, relatos técnicos e livros) para o período de 1973 a 1990.

Os dados da tabela 2 incluem um espectro amplo de publicações. Por exemplo, a bioquímica e agroquímica, que são varridas pelo *Chemical Abstracts*, e não fazem parte da tabela 1, respondem por aproximadamente 40% do total anual. Da mesma maneira, existe uma participação significativa de publicações cuja origem está vinculada a instituições ligadas à física. Entretanto, os dados da tabela 2 não

discriminam entre universidades, institutos de pesquisa ou de desenvolvimento e empresas privadas.

Tabela 2
Número de publicações brasileiras indexadas no *Chemical Abstracts*

Ano	Nº de publicações
1973	965
1974	1.057
1975	1.072
1976	1.315
1977	1.379
1978	1.497
1979	1.716
1980	1.650
1981	1.582
1982	1.041
1983	1.534
1984	1.842
1985	1.512
1986	1.492
1987	1.514
1988	1.556
1989	1.532
1990	1.312

Ao contrário do que aconteceu com os programas de pós-graduação, os dados da tabela 2 mostram que houve um crescimento significativo na década de 70, seguido de uma estagnação no volume de conhecimento em química produzido no país a partir de 1980, uma vez que o número de publicações permaneceu constante. Certos detalhes desse levantamento são surpreendentes e requerem uma análise mais detalhada dos dados da tabela 2, como foi feito para o período de 1972 a 1981 (Cagnin, 1987). Por exemplo, a subárea com maior número de trabalhos anuais no período 1982-1990 foi, consistentemente, a química nuclear, uma especialidade justamente tida como pouco desenvolvida no Brasil, e a segunda especialidade foi a espectroscopia, ambas bem à frente da química orgânica. Entretanto, as duas reúnem um grande número de trabalhos da área de física, tornando difícil a interpretação desses dados sem antes proceder a uma distinção entre eles.

Alguns dados adicionais servem para situar melhor as informações das tabelas 1 e 2. Estima-se que nos Estados Unidos a quantidade de doutores (PhD) em química formados a cada ano seja algo em torno de 1.500, enquanto no Brasil esse número só ultrapassou 100 em 1993. Na Inglaterra, por sua vez, são produzidos cerca de 4.800 artigos em química orgânica por ano, quase 10 vezes mais do que toda a produção científica da pós-graduação em química do Brasil. Existem cerca de 900 doutores em química no país, enquanto nos Estados Unidos, em 1981, esse número já era superior a 45 mil. Esses dados indicam que, apesar do progresso acelerado na pós-graduação e na geração de novos conhecimentos, o Brasil ainda está muito longe dos países mais avançados no que concerne a densidade de cientistas na área de química, embora as projeções estatísticas de crescimento da área situem o Brasil em uma posição de destaque em comparação com outros países latino-americanos. Na área de engenharia química, contudo, a produção científica brasileira ainda é inferior à da Argentina.

As descrições das principais linhas de pesquisa da química e da infra-estrutura para a pesquisa apontaram diferenças regionais importantes no Brasil. A capacitação docente é maior no Sudeste, que também recebeu o maior volume de recursos, viabilizando a implantação de um amplo leque de programas na química. Entretanto, importantes etapas puderam ser vencidas com a fixação de pesquisadores de alta competência em áreas afins, como ocorreu em produtos naturais no Ceará, na química teórica e espectroscopia no Recife, e na físico-química orgânica em Florianópolis. Esse núcleos conseguiram, em prazo curto, criar ilhas de excelência. O programa PICD foi fundamental na capacitação do corpo docente de muitas instituições brasileiras, embora a implantação de linhas de pesquisa em universidades em uma fase de recursos escassos venha sendo uma tarefa árdua nesses últimos anos.

Qual o nível dos pesquisadores formados no Brasil e atuantes no cenário científico? A química do Brasil e, em conseqüência, seus pesquisadores sofrem de um isolamento científico natural em função de sua situação geográfica, o que torna imprescindíveis os programas de intercâmbio e estágios em centros no exterior. O desempenho dos estagiários no exterior, especialmente no nível de pós-doutoramento, tem sido razoável, e tem contribuído para a abertura de novas linhas de pesquisa. Embora sem uma idéia exata da porcentagem de cientistas ativos em química formados no exterior comparada com a daqueles formados no Brasil, uma avaliação da própria comunidade nacional é ilustrativa. Segundo Meneghini (1991), dos 30 cientistas químicos classificados entre os de melhor desempenho, apenas três se doutoraram no exterior (outros três são estrangeiros que imigraram para o Brasil já com o doutorado). Em compensação, apenas um entre os 26 brasileiros citados na lista não fez pós-doutoramento no exterior. É interessante notar que foi justamente este perfil (preferência pela formação no

país) que levou a química a ser considerada um pouco "provinciana" quando comparada com a física e a matemática.

Até recentemente, o país absorvia com certa facilidade o contingente de pós-graduados em química. A expansão e o aprimoramento do corpo docente das universidades criaram oportunidades para fixar esses pesquisadores, ao contrário do que ocorreu na Argentina, onde houve considerável evasão de talentos para os países considerados de ponta na área científica. Entretanto, a tendência de fixar pesquisadores da química no Brasil pode vir a se alterar no curto prazo, na medida em que um número crescente de cientistas é treinado no exterior e, no retorno, tende a encontrar dificuldades para iniciar uma linha de pesquisa, devido a problemas de infra-estrutura e de falta de oportunidades no setor acadêmico ou industrial, ou simplesmente por falta de apoio à pesquisa.

Um segundo indicador, também de difícil quantificação, diz respeito à originalidade das linhas de pesquisa em química. A transmissão rápida de conhecimento no mundo faz com que poucas idéias sejam consideradas de domínio privado de um grupo de pesquisas. A maioria dos trabalhos e linhas de pesquisa desenvolvidos no Brasil se enquadra, em maior ou menor escala, dentro de tendências mundiais e, mesmo, quase a reboque delas. Por esse prisma, praticamente não existem linhas de pesquisa que tenham surgido no Brasil e aberto perspectivas importantes no campo da química. A química de produtos naturais exibe uma certa originalidade, que decorre do fato de o material utilizado ser local. Entretanto, a expansão de um trabalho puramente sistemático acabou por prejudicar a criatividade e as possibilidades de inovação nessa área. Outro exemplo interessante são os trabalhos pioneiros realizados na década de 50 em São Paulo sobre compostos orgânicos de telúrio, considerados uma curiosidade na época. Depois de 20 anos, este tópico se tranformou em uma área muito ativa e de grande aplicação, como no caso de reagentes em sínteses orgânicas. A baixa densidade de pesquisadores existentes no Brasil na época e a precariedade dos recursos instrumentais nos anos 70 prejudicaram a retomada desse campo, embora exista um apreciável *know-how* local no assunto. Mais recentemente, dois tópicos bastante originais com grande aceitação foram os fenômenos associados com osmossedimentação induzida por gravidade e o modelo desenvolvido para explicar a troca de íons na interface de soluções micelares.

Entre os critérios mais gerais para verificar a qualidade da produção científica da química no Brasil estão a freqüência de publicações em periódicos de grande impacto e com índice de citações. De maneira geral, a contribuição brasileira nas revistas de química mais importantes e de caráter geral, como o *Journal of the American Chemical Society* e o *Angewandte Chemie*, é inexpressiva, ou até nula, em alguns anos. Esta estatística não pode ignorar, entretanto, que o rigor editorial em revistas dessa natureza, para trabalhos procedentes de instituições ou de autores externos aos grupos mais conhecidos, freqüentemente beira o prejulgamento e o preconceito. Por outra lado, a baixa produtividade nessas revistas pode refletir a preferência de autores brasileiros por periódicos mais especializados, embora altamente conceituados. Dessa forma, contribuições de autores brasileiros começam a se tornar rotineiras em revistas como *Journal of Physical Chemistry, Journal of Organic Chemistry, Inorganic Chemistry, Journal of Chemical Physics, Chemical Physics Letters, Tetrahedron Letters, Langmuir* etc., apesar de o número ainda ser reduzido em função da dimensão da comunidade científica do país. Dados para o período 1983-85 confirmam claramente a tendência para a divulgação da produção científica em química predominantemente através de periódicos internacionais e de revistas de impacto razoável (Spagnolo, 1990).

Dados da Capes sobre a participação brasileira em congressos internacionais de química revelam que são raros os casos de convites a pesquisadores brasileiros para atuarem como conferencistas plenários nos grandes encontros internacionais. Também são raros os casos de pesquisadores brasileiros convidados como professores visitantes ou para apresentarem trabalhos em seminários promovidos por instituições de renome, provavelmente em função de fatores como o isolamento científico, que torna o trabalho do pesquisador brasileiro menos conhecido, e, às vezes, até dificuldades com línguas estrangeiras.

Em suma, é possível constatar um aumento da produção científica de qualidade no país e dos projetos submetidos à análise das agência de fomento. Houve, portanto, um aumento na demanda de qualidade, embora muitas das propostas ainda tenham um caráter pouco inovador para um país jovem como o Brasil, do qual se esperaria maior independência científica.

6. Interação da pesquisa em química no Brasil com o setor produtivo

Indicadores importantes de progresso de um país são a capacidade de desenvolvimento tecnológico e o uso da tecnologia para a melhoria das condições de vida de sua população, o que é obtido através quer do aproveitamento dos conhecimentos gerados no país, quer da adaptação de conhecimentos obtidos em outros países e que são de livre divulgação. Na química, são grandes as expectativas de que, no Brasil, a ciência básica e a pesquisa realizada nas universidades possam reverter em avanços significativos para o desenvolvimento tecnológico do país e para o setor produtivo, em particular. Isto, contudo, ainda está longe de ser uma realidade, em função de uma série de fatores cuja identificação é necessária para equacionar corretamente a atuação da química no país.

Em linhas gerais, as universidades têm desempenhado um papel importante em suprir o setor produtivo com recursos humanos, no nível de graduação, na química, engenharia química e farmácia. A formação básica dada pelas universidades, complementada pelo treinamento específico nas empresas, deu a tônica do modelo industrial brasileiro dos anos 60 e 70 e constituiu um dos alicerces do parque industrial brasileiro. A implantação da pós-graduação nas universidades visava a um horizonte mais ambicioso, qual seja, a capacitação de recursos humanos em um nível superior através da realização de projetos de pesquisa ori-

ginais. A pós-graduação promoveu o avanço da química no Brasil em duas vertentes:

- treinamento de cientistas com base em uma disciplina rigorosa, em que a criatividade, o poder de inovação e o espírito crítico são estimulados e aliados a um treinamento em teorias e técnicas modernas;

- avanço de conhecimentos básicos ou aplicados em determinadas áreas.

As linhas de pesquisa introduzidas nas universidades gravitam, em sua grande maioria, em torno de temas considerados relevantes na ciência que não reconhece fronteiras entre países. Entretanto, também a ciência dita de vanguarda sofre um forte impacto das diretrizes científicas definidas nos países mais avançados, uma vez que os recursos para pesquisa são alocados de acordo com linhas temáticas preferenciais. No Brasil, essa definição tem sido bastante tênue, mesmo na área de produtos naturais, que trabalha com matéria-prima do próprio país, e onde as diretrizes não estão imunes à demanda e ao interesse criado pela ciência internacional.

O próprio modelo da pós-graduação — orientado para a formação de recursos humanos — faz com que a pesquisa realizada na universidade tenha características nitidamente horizontais. Não existem grupos ou instituições de pesquisa no Brasil com infra-estrutura para produzir pesquisas de integração vertical. O ambiente de liberdade acadêmica que vigora nas instituições universitárias cria dúvidas sobre se uma estrutura desse tipo seria possível ou, até mesmo, desejável nas universidades brasileiras. Assim, os resultados da pesquisa nas universidades acaba sendo, atualmente, um subproduto da formação de pessoal qualificado, configurando um padrão bem distinto do dos institutos de pesquisa ou de desenvolvimento, onde os objetivos e a hierarquia estão bem estabelecidos, e onde é possível uma verticalização razoável da pesquisa. Um exemplo deste tipo de estrutura são os institutos ligados à Academia de Ciências da antiga União Soviética e dos países do Leste europeu, que congregam um grande número de pesquisadores em torno de um determinado assunto visando a um objetivo comum.

Por sua vez, empresas dos setores químico e farmacêutico no Brasil adotaram um modelo inicial de importação de tecnologia, essencial para a implantação rápida de uma indústria de base. Ainda assim, quase nenhuma delas ostenta poder de inovação pois não possui uma estrutura dirigida para o desenvolvimento de produtos e processos a longo prazo. As próprias multinacionais dependem, para isso, de iniciativas da matriz. Obviamente, as incertezas econômicas por que o país tem passado desestimulam um planejamento desse tipo, e as empresas supranacionais terminam por favorecer uma concentração das ações de desenvolvimento nos países avançados, onde é possível fazer um planejamento de longo prazo. As empresas nacionais, por sua vez, trabalham com um horizonte de curtíssimo prazo e com a filosofia de manter um mínimo de investimento na área de

pesquisa e desenvolvimento. Existem algumas raras exceções que, no entanto, são uma minoria, normalmente lideradas por empresários esclarecidos, que valorizam as atividades de P&D. Contudo, os problemas na área da química vêm se agravando e estão a exigir algum tipo de atividade sinérgica.

Nos últimos anos, aumentou bastante a expectativa de que os laboratórios de pesquisa das universidades venham a atuar em determinadas instâncias como centros de P&D para as empresas, em problemas específicos. Entretanto, essa perspectiva nem sempre tem sido bem aceita e, talvez por isso, sua operacionalização tem sido muito lenta, o que leva ao questionamento da viabilidade dessa iniciativa. Do lado das universidades, a demanda que parte das empresas freqüentemente envolve desde a simples adaptação de processos conhecidos — que, obviamente, não motiva os pesquisadores mais criativos — até especialidades nem sempre desenvolvidas no âmbito das universidades. O redirecionamento para resolver problemas a curto prazo tem sido questionado nas universidades, que não vislumbram um retorno científico significativo nesse intercâmbio. A estrutura hierárquica, ou a sua ausência, nas universidades, aliada ao sistema de promoção em vigor, também não favorece uma atuação desse tipo. A engenharia química e, em menor escala, a química farmacêutica têm interagido de forma mais ativa com o setor produtivo, através de um regime de contratação de serviços ou da pesquisa "sob encomenda".

A evolução da química no setor industrial revela que as grandes companhias multinacionais investem maciçamente em seus programas de desenvolvimento e no recrutamento de talentos na área de P&D. O objetivo das universidades, por sua vez, é preparar cientistas bem-treinados para atuar tanto no setor privado quanto no governamental. Uma visão clara da maneira como funciona a pesquisa aplicada, ou a pesquisa diretamente relacionada com o desenvolvimento de produtos em empresas, e sua interação com o mercado, com a pesquisa básica, com o meio ambiente e com a legislação está muito bem ilustrada em uma publicação sobre a trajetória da Basf (Quadbeck-Seeger, 1990) e serve para orientar a relação entre pesquisa básica e pesquisa aplicada.

A absorção, pela indústria química brasileira, dos recursos humanos provenientes da pós-graduação ainda é muito tímida, e os planos para atividades de P&D nas indústrias têm sido seriamente prejudicados pela conjuntura recessiva que prevaleceu nos últimos anos. Uma alternativa que parece mais eficiente é o repasse de tecnologia através de uma empresa suficientemente sofisticada para atuar como interface da indústria com o meio acadêmico, na linha da Codetec, por exemplo, que configura uma maneira interessante de combinar conhecimento científico com formação de equipe multidisciplinar e uma administração de tipo empresarial para repasse de tecnologia ao setor industrial no âmbito local.

A médio prazo, a expansão de recursos humanos originários da pós-graduação poderá resultar na formação de pequenas empresas de alta tecnologia, capazes de fazer a ponte entre universidade e indústria. Entendemos que este é o

caminho correto caso haja disponibilidade de financiamentos e capital de risco para que pequenas empresas desse tipo possam surgir no cenário brasileiro.

Por outro lado, não parece provável que, nas condições atuais, qualquer avanço significativo da pesquisa universitária na química encontre parceria no setor industrial. No setor farmacêutico, por exemplo, não existe tradição no desenvolvimento e triagem de novos medicamentos, o mesmo ocorrendo na área de especialidades químicas, uma vez que a demanda na química fina está atrelada a produtos que não trazem um grau elevado de inovação.

Por ora, a interação universidade-setor produtivo na química está restrita a pequenos serviços de consultoria em áreas onde existem interesse mútuo e competência para esse fim. O treinamento de pessoal do setor produtivo em técnicas modernas também é uma contribuição positiva nesse sentido.

Em resumo, as universidades têm contribuído para o aumento da oferta de pessoal qualificado para uma química mais avançada no país e têm concorrido para a abertura de novos conhecimentos. A demanda do setor produtivo tem recaído predominantemente sobre aspectos muito específicos e de maturação a curtíssimo prazo que só podem ser resolvidos em estruturas montadas nas próprias empresas ou em instituições especializadas. A transformação das universidades em empresas de consultoria seria um grave erro para o futuro do Brasil. Entretanto, as dúvidas sobre a capacidade nacional de transformar conhecimentos originais em tecnologia de ponta é um assunto que ainda está em consideração e que merece atenção nas ações a serem desenvolvidas e nas metas definidas para o setor.

7. Planos de ação para a química

As propostas orçamentárias para 1993 apresentadas pelos setores responsáveis pela química, engenharia química e química farmacêutica (programa de farmácia) do CNPq contêm uma exposição de motivos e um retrato muito preciso da situação atual destas áreas. A ênfase principal desses programas continua recaindo na necessidade de incrementar a formação de recursos humanos para atingir metas a curto prazo. Por exemplo, o documento do CNPq explica que, apenas para atender à área acadêmica, seria necessário triplicar o número de doutores em química no país. Embora isso seja questionável, não há dúvidas de que o programa de bolsas em todos os setores da química tem proporcionado uma base sólida para o crescimento da área.

A programação de bolsas das diversas modalidades (pesquisa, pós-doutorado, apoio técnico e pesquisadores visitantes) para os próximos anos prevê um crescimento entre 10 e 15% ao ano, com destaque para bolsas de doutorado no país. É preciso estar atento para o fato de que o mero aumento do número de bolsas, sem a devida contrapartida para material e instrumental, levaria a uma inevitável queda de nível. Esses números devem ser considerados com mais atenção.

O custo do treinamento de alunos de doutorado no exterior é extremamente alto, da maneira como este programa está sendo conduzido. Apesar das diferenças importantes de país para país, é sabido que nos Estados Unidos existe uma grande variedade de mecanismos que são usados para sustentar os alunos de pós-graduação, mesmo estrangeiros. A prova disso é o grande número de estudantes de origem asiática — inclusive chineses — que fazem pós-graduação nos Estados Unidos custeados por verbas de pesquisa de instituições americanas. Em outras palavras, o incentivo para a pós-graduação no exterior deve consistir de passagem, treinamento eventual em língua estrangeira e de algum tipo de apoio, sem envolver o pagamento das taxas escolares que fazem parte integral do "pacote" oferecido para alunos de pós-graduação que se candidatam a bolsas concedidas diretamente pela instituição. As vantagens do treinamento em grandes centros ainda são enormes, porque o aluno é exposto às correntes científicas mais importantes da atualidade e convive com cientistas destacados. O gerenciamento adequado de um programa desse tipo pode facilmente levar 50 alunos de doutorado para o exterior a um custo muito mais baixo do que aquele arcado atualmente pela Capes e pelo CNPq. Este raciocínio não se aplica ao caso das bolsas de pós-doutorado, onde as oportunidades são muito mais reduzidas e o país deve investir no seu próprio pessoal. Nesse nível, contudo, conviria estabelecer garantias para que esse treinamento esteja vinculado ao programa de alguma instituição.

O fomento na área de bolsas de pesquisa e bolsas de apoio técnico se tornou essencial para contornar os efeitos perversos da situação salarial nas universidades e institutos de pesquisa. Contudo, é essencial vincular essas bolsas a projetos de pesquisa que já contem com algum tipo de financiamento.

Finalmente, vale a pena analisar a situação do Leste europeu e, especificamente, da Rússia. Esses países dispõem de uma grande competência científica instalada que, atualmente, está em falência total. A absorção de cientistas desses países através de um programa agressivo de recrutamento representaria uma alavancagem importante na capacitação nacional. Algumas especialidades com grande demanda no Brasil, como catálise e química do estado sólido, estão altamente desenvolvidas nesses países e por cientistas acostumados a trabalhar em condições de infra-estrutura que também não são ideais.

Entretanto, a maior preocupação atual reside na indefinição de uma política de investimento em ciência e tecnologia. A concessão de bolsas e a expansão da pós-graduação poderão até ser contraproducentes na ausência de uma estratégia bem-definida de financiamento à pesquisa.

Antes de mais nada, é necessário proceder a uma definição geral de metas. Apesar do baixo número de pesquisadores na química no Brasil, é preciso estabelecer algumas prioridades que permitam de fato orientar os trabalhos da área. Essas metas devem ser definidas não apenas por cientistas, mas por um grupo de trabalho que inclua representantes do setor produtivo, significando que o desenvolvimento científico e tecnológico do país não pode ser de responsabilidade

apenas de órgãos governamentais, uma vez que o setor privado está entre seus maiores beneficiários. Algumas metas foram estabelecidas através dos programas de RHAE, que cobrem apenas bolsas de aperfeiçoamento e não prevêem recursos para a realização de pesquisas. A programação para química fina e a sua baixa demanda sugerem o reduzido interesse por parte das empresas em assumir encargos de financiamento, ainda que a juros reduzidos. A definição de metas não deve, contudo, comprometer o apoio à ciência de boa qualidade, ainda que não diretamente vinculada a estas metas.

O sistema de auxílios previsto deve incorporar algumas das modalidades pretendidas originalmente através dos auxílios integrados. Atualmente, esses auxílios constituem um mecanismo mais interessante do que os laboratórios associados. A idéia seria conceder três sistemas de auxílio, na linha do que se pretendeu atingir no PADCT, como explicado a seguir:

- Auxílios integrados por um período de três anos para os grupos já estabelecidos, que praticamente funcionariam como laboratórios associados. Essa modalidade inclui uma avaliação rigorosa desses laboratórios quando da renovação dos auxílios, como forma de aferir o seu desempenho. Os recursos necessários à manutenção de laboratórios desse porte devem partir de um piso mínimo de US$50 mil, e deveriam incluir a aquisição de instrumental, sua *manutenção* e os insumos necessários para o desenvolvimento dos projetos. O critério para a escolha dos grupos beneficiados se basearia no seu nível de excelência, medido através de publicações em revistas conceituadas, e no seu reconhecimento internacional.

- Auxílios para novos pesquisadores que apresentem propostas com elevado grau de *originalidade* e que visem a implantação de novas linhas de pesquisa. Essa modalidade não deverá atender a solicitações que visam simplesmente a duplicação de linhas de pesquisa já existentes em centros consolidados, e deve ser objeto de uma avaliação rigorosa caso os projetos não se enquadrem em uma linha inovadora. O valor dos auxílios nessa categoria poderia se situar em US$30 mil, embora o seu dimensionamento seja uma tarefa difícil, uma vez que a implantação de uma linha de pesquisa nova pode, freqüentemente, exigir um aporte inicial de capital maior.

- Auxílios para atender a pesquisadores situados em uma faixa entre os dois casos acima e que apresentem propostas de alto valor científico.

Entretanto, vale a ressalva de que qualquer iniciativa para normalizar os recursos destinados à pesquisa se frustrará caso não se resolva de maneira definitiva o problema das importações, embora a liberação das restrições gerais às importações já tenha contribuído para melhorar bastante a situação.

O apoio para infra-estrutura e para a melhoria das condições dos diversos laboratórios deveria contar com a participação dos estados envolvidos. A infra-

estrutura deveria ser apoiada por uma parceria entre fundações estaduais de fomento à pesquisa e empresas privadas, mesmo no caso de universidades federais, que poderão se beneficiar de atividades desenvolvidas nesses centros de pesquisa.

Outra atividade da maior importância é o apoio aos pesquisadores para participarem em eventos científicos no exterior, de preferência acoplados a pequenos estágios (duas semanas), cerca de uma vez por ano. O problema do isolamento científico analisado acima pode ser superado através de uma interação contínua e de um maior grau de exposição dos trabalhos realizados no país.

A recuperação e atualização de institutos de pesquisa científica e tecnológica como o IPT, o INT, o Ceped, o Cetec, o ITA, e o Inpa devem ser consideradas prioritárias para a dimensão mais aplicada da química. Cabe a esses institutos ocupar um espaço para o qual as universidades não têm vocação ou estrutura e que representa um forte apoio para o setor produtivo. A instalação de empresas de tecnologia de ponta deve ser estimulada através de incentivos para investimento de capital de risco.

Finalmente, uma coordenação nacional para a área de química seria um mecanismo eficaz para acompanhar e gerenciar o desenvolvimento de programas dessa natureza, nos moldes dos que existem na NSF, nos Estados Unidos, no CNRS, na França, e no Conselho de Pesquisas da Itália. O prazo de gestão dessa coordenação deveria ser de três anos, e ela deveria contar com o respaldo de comitês assessores para as decisões técnicas, subsidiando os comitês com informações levantadas *in loco* sempre que necessário.

A situação da química no Brasil tem-se alterado de maneira tão rápida nos últimos anos que recomendações muito específicas correm o risco de se tornar desatualizadas caso não sejam implantadas em prazo relativamente curto. Entretanto, o enorme esforço que o país tem feito no sentido de criar uma capacitação científica respeitável, aliado a sinais de que essa capacitação já atingiu um nível que permite prever um futuro otimista, constitui a maior evidência de que o investimento a ser feito em ciência e tecnologia redundará em benefício para toda a população.

Referências bibliográficas

Cagnin, M. A. H. Avaliação da pesquisa e da pós-graduação em química no Brasil: comunidade científica, sistema de pares e indicadores científicos. *Química Nova*, *16*:161-71, 1993.

———. O desenvolvimento regional e a participação do pesquisador químico no progresso da química brasileira. *Química Nova*, *10*:223-41, 1987.

Meneghini, R. Performance of Brazilian scientists with previous PhD training in Brazil and in developed countries. The case of chemists. *Ciência e Cultura*, *43*: 343-6, 1991.

Mors, W. R. *Química*. Brasília, CNPq, 1982. (Avaliação e Perspectivas, Ciências Exatas e da Terra, 8.)

Pós-graduação em química e farmácia: sumário e avaliação da Capes-1991. *Química Nova*, *14*:306-11, 1991.

Quadbeck-Seeger, H. J. *Angewandte Chemie*, *29*:1.177-88, 1990.

Seidl, P. R. Potencial de pesquisa química nas universidades brasileiras. Cetem/ CNPq, 1991.

Spagnolo, F. Brazilian scientists' publications and mainstream science: some policy implication. *Scientometrics*, *18*:205-18, 1990.